

# 基于肤色模型和梯度算子的正面人脸轮廓提取

吴绿芳, 雷蕴奇, 魏 昇, 吴众山

( 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

**摘 要:** 文章提出了一种新的正面人脸封闭轮廓提取方法, 首先采用肤色模型对肤色区域进行初定位, 然后经过筛选去除非人脸区域, 最后提取人脸初步轮廓, 并结合梯度算子提取下巴轮廓, 进而得到一个连续、封闭的人脸轮廓。该算法基本克服了下巴轮廓难以从颈部提取的问题, 满足了人脸轮廓特征提取的要求, 同时具有较高的时效性。

**关键词:** 肤色模型; 轮廓提取; 梯度算子

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

## Front Face Contour Extraction Based on Skin Color Model and Gradient Operator

WU Lu-fang, LEI Yun-qi, WEI Sheng, WU Zhong-shan

( College of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

**Abstract:** A new extraction method for front face contour is proposed by this paper. Firstly, we locate the skin color regions by using the skin color model. Then, we filter the false face regions and extract the preliminary face contour. Finally, the whole continuous and close face contour is obtained by extracting upper face contour in the face region and by extracting chin contour through a gradient operator. The proposed algorithm basically overcomes the difficulty of extracting the chin contour from the neck, satisfies the demand of face contour feature extraction, and also it has a high time-effectiveness.

**Key words:** skin color model; contour extraction; gradient operator

人脸识别是模式识别和计算机视觉领域研究的热点, 有着十分广泛的应用前景。人脸轮廓作为人脸特征的重要组成部分, 是后续其它人脸特征检测提取和人脸识别的基础, 对人脸识别有着重要的作用。基于肤色的人脸轮廓提取算法在基于颜色的皮肤检测<sup>[1]</sup>基础上, 通过建立肤色模型<sup>[2]</sup>检测得到类肤色区域, 经过区域筛选和轮廓跟踪提取就可以得到人脸轮廓。这种方法的优点是计算量小, 可以得到完整的封闭轮廓, 对于人脸的形状和位置具有一定的鲁棒性; 其缺点是受到光照和肤色模型的影响, 对于背景中具有类人脸形状和颜色的区域难以区分, 往往难以将颈部从人脸区域分离。此外, 还有一些其它的人脸轮廓提取方法。

本文主要针对基于肤色模型的人脸轮廓提取中难以将颈部从人脸区域分离的问题, 提出了一种基于肤色模型和梯度算子的正面人脸轮廓提取算法。首先对图像进行一定的光照补偿, 再建立肤色模型对图像进行肤色检测得到二值图像; 经过形态学处理后, 筛选除去非人脸区域, 得到人脸区域; 接着通过初步轮

廓提取和轮廓跟踪得到人脸的外轮廓, 由轮廓中的颈部和人脸连接部分的几何特性将颈部及其以下部分的轮廓线去除, 然后由两端点根据梯度算子计算得到人脸下巴的轮廓线; 最后连接并插入间断部分像素点, 得到封闭、连续的人脸轮廓。经过多方实验, 结果表明该方法能够较好的将颈部从人脸区域中去除, 并得到满意的人脸封闭轮廓, 运算速度较快。

## 1 算法描述

### 1.1 图像预处理

#### 1.1.1 光照补偿

在光照条件发生变化时, 人脸颜色也会发生一定的变化。实验表明, 当光照较强时, 人脸大部分区域的颜色不会超出正常光照条件下人脸的变化范围。但是当光照较暗时, 人脸颜色的变化受亮度降低的影响较大。所以, 必须对光线较暗的图像进行光照补偿。光照补偿结果如图 1 所示。

为了简化计算, 首先求出图像中每个像素点的亮度值, 并对亮度值进行统计, 求得平均亮度灰度值

收稿日期: 2007-10-16; 修订日期: 2007-12-03

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目, 项目编号: 2006AA01Z129

作者简介: 吴绿芳(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 图像处理与计算机视觉; 雷蕴奇(1963-), 男, 副教授, 研究方向: 计算机网络、图像处理与模式识别、智能控制。

avg\_Y。若  $\text{avg\_Y} \geq \text{threshold\_Y}$  (本文取 128), 则不对图像进行光照补偿, 否则采用 Anil K. Jain<sup>[3]</sup>等提出的一种光照补偿方法进行光照补偿。该光照补偿方法具体如下:

(1) 将整幅图像中所有像素点的亮度从高到低排列, 提取前 5% 的像素点。

(2) 如果这些像素点的数目不够多, 则不对图像进行光照补偿, 否则就将这些点的值作为“参考白”, 即将像素点的 RGB 值都调整为 255。然后, 由 255 除以这些像素点的亮度灰度平均值得到光照补偿系数。对图像中所有其它像素点都按这一尺度调整。



(a) 光照补偿前



(b) 光照补偿后

图 1 光照补偿结果图

### 1.1.2 肤色检测<sup>[4,5]</sup>

肤色检测中采用各种各样的颜色空间包括常用的颜色空间, 如 RGB、HSV、YUV、YCbCr、归一化 RGB 等, 以及一些比较独特的颜色空间, 如 E-R/G-H<sup>[6]</sup>, H-GY-Wr<sup>[7]</sup>, SCT<sup>[8]</sup>和 IRgBy<sup>[9]</sup>等。

本文在分析、实现和比较了常用的 RGB、归一化 RGB、YUV、YCbCr 空间后, 选用了 YCbCr 颜色空间。Y 表示亮度, Cb 和 Cr 分别表示蓝色和红色的色度。YCbCr 空间具有将色度与亮度分离的特点, 在 YCbCr 色彩空间中肤色的聚类特性比较好, 受亮度变化的影响较小, 而且是 Cb-Cr 二维独立分布, 能较好地限制肤色分布区域<sup>[10]</sup>。此外, YCbCr 颜色空间有着与人的视觉感知过程相类似的结构原理。

RGB 颜色空间到 YCbCr 颜色空间转换关系为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 & 0 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 & 128 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 & 128 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix}$$

经过实验, 得到了适应面较广的人的肤色在 YCbCr 颜色空间中的分布范围:

$$32 \leq Y \leq 240; 90 \leq Cb \leq 118; 140 \leq Cr \leq 170$$

对每一个像素点, 首先进行颜色空间转换, 得到 Y、Cb、Cr 值, 再由上述肤色模型判断。若属于该范围, 则为肤色点, 否则为非肤色点。肤色检测实验结果如图 2 所示:



图 2 肤色检测结果图

### 1.1.3 形态学处理

由肤色检测结果可以看出, 图像中检测到的候选人脸区域中存在许多非肤色点和块。一方面是由肤色点误判引起的, 另一方面是由于人脸中存在眼睛、嘴唇等非肤色区域。为了解决这一问题, 采用形态学方法对肤色检测结果图像进行处理。膨胀、腐蚀后的结果如图 3 所示, 步骤如下:

(1) 连续四次作四方向膨胀以连接人脸区域中不连续的块;

(2) 连续四次作四方向腐蚀使人脸区域恢复到膨胀前的大小。



图 3 膨胀、腐蚀后的结果图

### 1.1.4 筛选人脸区域

对肤色检测后得到的肤色区域进行连通标记, 同时记录连通区域的边界值和肤色点个数, 然后对各个连通区域进行筛选, 去除非人脸区域。筛选后得到的人脸区域如图 4 所示, 步骤如下:

(1) 利用连通区域标记算法<sup>[11]</sup>为各个连通的肤色区域做上不同的标记, 同时得到各个连通区域的边界值和肤色点个数;

(2) 去除肤色点个数明显少于人脸肤色点个数的区域 (本文取阈值为 400);

(3) 计算各区域肤色点个数与外接矩形的比值以及外接矩形宽和高的比值;

(4) 由于肤色检测中得到的人脸区域一般都包含颈部区域, 因此上述两比值范围分别放宽至 0.48, 0.9 和 (0.3, 0.89), 由此范围判断各个连通区域是否为人脸区域。



图 4 筛选后得到的人脸区域

## 1.2 轮廓提取

### 1.2.1 初步轮廓提取

初步轮廓提取采用的算法非常简单, 即对于图像中的每个像素点, 若为黑色且其八邻域内所有像素点均为黑色, 则将该点置为白色; 其余点不做改变。初步轮廓提取结果如图 5 所示:



图 5 初步轮廓提取结果图

### 1.2.2 外轮廓跟踪

初步轮廓提取后, 轮廓内含有杂点且轮廓边缘粗细不均匀。本文采用了轮廓跟踪法<sup>[12]</sup>解决这个问题, 同时依序存储外轮廓点的坐标及轮廓周长(起始点为最左下方像素点, 逆时针方向回到起始点)。轮廓跟踪后的结果如图 6 所示:

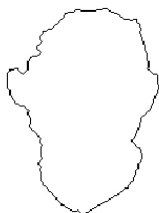


图 6 轮廓跟踪后的结果

### 1.2.3 去除颈部轮廓

一般采用肤色检测方法所得到的人脸轮廓都包含了颈部区域, 如何去除颈部区域是一个难点, 也是本文的重点。经过对大量正面人脸的观察得知: 在正面人脸图像的初步提取所得轮廓中, 左右脸颊与颈部轮廓曲线间存在明显的变化, 可以很容易的找到左右两边连接两者轮廓的像素点  $P_L$ 、 $P_R$ 。找到这两个点后, 去除其下方的轮廓点, 即去除了颈部轮廓。

在人脸区域竖直方向上, 由上方边界起始, 在人脸区域宽 0.8 到 1.5 倍范围(脸颊与颈部连接部分的可能范围)内, 对左右两边人脸初步提取轮廓执行以下搜索算法, 点的位置关系如图 7 所示:

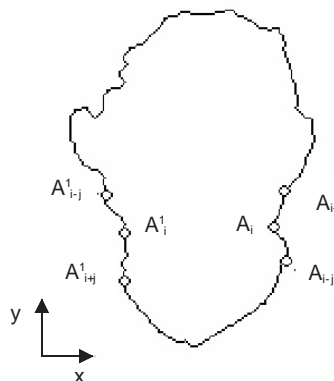


图 7 搜索算法中点的位置关系

(1) 在右侧轮廓, 由下至上选取像素点  $A_i$ , 计算向量  $\overrightarrow{A_i A_{i+j}}$  的方向角  $\theta_{ij}$ 、向量  $\overrightarrow{A_i A_{i+j}}$  与  $\overrightarrow{A_i A_{i-j}}$  所构成的角  $\theta'_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, 20$ ), 若满足  $0^\circ < \theta_{ij} < 80^\circ$  且  $90^\circ < \theta'_{ij} < 170^\circ$  ( $j=1, 2, \dots, 20$ ), 则  $A_i$  为右侧脸颊与颈部连接点  $P_R$ 。

(2) 在左侧轮廓, 由下至上选取像素点  $A'_i$ , 计算向量  $\overrightarrow{A'_i A'_{i-j}}$  的方向角  $\theta'_{ij}$ 、向量  $\overrightarrow{A'_i A'_{i-j}}$  与  $\overrightarrow{A'_i A'_{i+j}}$  所构成的角  $\theta_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, 20$ ), 若满足  $100^\circ < \theta_{ij} < 180^\circ$  且  $90^\circ < \theta'_{ij} < 170^\circ$  ( $j=1, 2, \dots, 20$ ), 则  $A'_i$  为左侧脸颊与颈部连接点  $P_L$ 。

### 1.2.4 下巴轮廓提取

图 8 为去除颈部后的轮廓, 所得到的并不是完整的人脸轮廓, 必须将人脸的下巴轮廓提取添加才能得到完整的人脸轮廓。本文采用 sobel 梯度算子进行轮廓提取, 其原因在于需要得到连续、封闭、单像素点宽度的轮廓线, 而非离散的边缘点。因此对最后提取的结果无需进行曲线拟合等边缘连接。为了便于观察, 在显示时将轮廓线加粗。具体步骤如下:



图 8 去除颈部后的轮廓

(1) 首先计算由 1.1.4 得到的人脸矩形区域内的每个像素点  $E_{ij}$  的 sobel 梯度算子  $G_{ij}$ ;

(2) 初始置  $i=0, P_i=P_L$ 。对于  $x \in (P_L \cdot x, P_R \cdot x)$  且  $x \in N$ , 按  $x$  的递增顺序如下循环进行计算:  $y=P_i \cdot y, i=i+1$ ,

令  $P_i$  为  $\min(C_{xy}, G_{x(y+1)}, G_{x(y-1)})$  所对应的点;

(3) 初始置  $i=P_R \cdot x - P_L \cdot x$ ,  $P_i = P_{R_0}$ . 对于  $x$  ( $P_L \cdot x, P_R \cdot x$ ) 且  $x \leq N$ , 按  $x$  的递减顺序如下循环进行计算:  $y = P_i \cdot y$ ,  $i = i - 1$ , 令  $P_i$  为  $\min(G_{xy}, G_{x(y+1)}, G_{x(y-1)})$  所对应的点;

(4) 对所有  $i=1, 2, \dots, P_R \cdot x - P_L \cdot x - 1$ , 将像素点  $A(P_i \cdot x, (P_i \cdot y + P_i \cdot y)/2)$  添加到人脸轮廓。

(5) 由于所有轮廓点在  $x$  方向上均连续, 所以只需对在  $y$  方向上不连续的点之间插入轮廓点使之连续即可。至此, 完整、封闭的人脸轮廓线提取完毕。最终人脸轮廓及其在原图中的位置如图 9 所示:



图 9 最终人脸轮廓及其在原图中的位置

## 2 实验结果和分析

图 10 给出了在不同的场景、光照条件和人物下的实验结果。



图 10 部分实验结果图

可以看出, 本文所给算法基本上去除了颈部区域, 可以提取到较完整的人脸轮廓。实验中也存在少量误检的情况, 如肤色模型不够完善, 去除颈部区域和添加下巴轮廓线的算法还有待改善。

另外, 本文工作的不足之处在于:

(1) 由于颈部去除算法仅针对正面人脸, 需要对此算法进行改进, 以使其同样适用于侧面人脸轮廓提取;

(2) 没有对提取的人脸轮廓进行平滑操作, 导致轮廓线比较曲折。

## 3 结论

本文在分析了当前人脸轮廓提取算法的基础上, 主要针对基于肤色检测的人脸轮廓提取算法中颈部区域难以去除的问题, 提出了一种解决办法, 基本解决了正面人脸轮廓提取。本文算法简单, 易于实现, 处理速度较快, 并且对光照、尺度、姿态、表情等具有一定的鲁棒性, 提取的人脸轮廓基本令人满意。

参考文献:

- [1] 徐战武, 朱森良. 基于颜色的皮肤检测综述[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(3): 377-388.
- [2] 张宏林. Visual C++ 数字图像模式识别技术及工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [3] Rein-Lien Hsu, Mohamed Abdel-Mottaleb, Anil K. Jain. Face Detection in Color Images[J]. IEEE International Conference on Image Processing, 2001, 1.
- [4] 徐战武, 朱森良. 肤色检测最优空间[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(9): 1350-1356.
- [5] 陈锻生, 刘政凯. 肤色检测技术综述[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 194-207.
- [6] Gomez G, Sanchez M, Sucar L E. On selecting an appropriate colour space for skin detection [C]. Proceedings of Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Yucatan, 2002, 69-78.
- [7] Gomez G. On selecting colour components for skin detection [C]. Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, Quebec, 2002, 961-964.
- [8] Hyams J, Powell M W, Murphy R. Cooperative navigation of micro-rovers using color segmentation[J]. Autonomous Robots, 2000, 9(1): 7-16.
- [9] Forsyth D A, Fleck M M. Automatic detection of human nudes [J]. Journal of Computer Vision, 1999, 32(1): 63-77.
- [10] Y Gong, M Sakauchi. Detection of regions matching specified chromatic features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 61(2): 263-269.
- [11] 毛顺兵, 程小平. 复杂背景彩色图像的人脸检测算法研究[D]. 重庆: 西南师范大学, 2002.
- [12] 杨淑莹. 图像模式识别——VC++ 技术实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2005: 151-154.